

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-151758

(P2002-151758A)

(43) 公開日 平成14年5月24日 (2002.5.24)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 C 11/14	A 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14		11/15	5 F 0 8 3
11/15		H 0 1 F 10/30	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-347446 (P2000-347446)

(22) 出願日 平成12年11月9日 (2000.11.9)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 渡辺 克朗

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

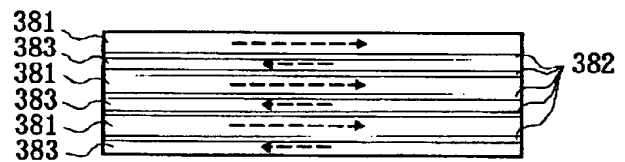
(54) 【発明の名称】 強磁性トンネル磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び磁気抵抗効果型ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 熱揺らぎに対して安定な強磁性トンネル磁気抵抗効果素子を提供する。

【解決手段】 強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の自由層を強磁性層 (381、383) と中間層 (382) を少なくとも5層以上積層し、中間層382を介して隣接する2層の強磁性層381と383の磁化を反強磁性的に配列させることにより、異方性磁界 H_k や飽和磁化 M_s を変えることなく、しかも感度の劣化を招かずに自由層の体積を大きくすることができるため、熱揺らぎに対して安定になる。

図 4



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】第 1 磁性層と、強磁性層と中間層とが少なくとも 5 層以上積層されている多層構造との間にトンネル障壁層が形成されており、前記第 1 磁性層は作用する外部磁界に対してその磁化の方向が拘束されており、前記多層構造を構成する強磁性層は外部磁界に対してその磁化の方向が回転し、その磁化が前記中間層を介して反強磁性的に配列しており、前記第 1 磁性層と前記多層構造を構成する強磁性層の磁化の相対的な角度によって抵抗が変化する強磁性トンネル磁気抵抗効果膜と、前記強磁性トンネル磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給するための下部および上部磁性層に電氣的に接している下部及び上部電極と、

抵抗変化を検出するための検出手段を有することを特徴とする強磁性トンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】前記強磁性層が、Fe、Co、Ni およびそれらの合金であることを特徴とする請求項 1 記載の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】前記中間層が、Cr、Ru、Rh、Ir、Re 及びそれらの合金であることを特徴とする請求項 1 記載の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】前記強磁性層が Co-Fe 合金、Co-Ni-Fe 合金、Ni-Fe 合金であり、前記中間層が Ru であることを特徴とする請求項 1 記載の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】前記外部磁界に対して磁化の方向が回転する磁性層の平均の異方性磁界 H_k と、平均の飽和磁化 M_s と、前記外部磁界に対して磁化の方向が回転する磁性層を構成する各強磁性層の体積の和 V_{ferro} との間に、 $H_k \cdot M_s \cdot V_{ferro} / 2 \geq 80 \cdot k \cdot T$

ここで、 k ：ボルツマン定数、 T ：強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の温度が成り立つことを特徴とする特許請求項 1 記載の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】第 1 およびの第 2 の複数の導線が複数の交差領域を形成し、前記複数の交差領域に磁氣的に情報を記憶するセルを有する磁気メモリにおいて、前記磁氣的に情報を記憶するセルが、作用する外部磁界に対してその磁化の方向が拘束されて第 1 磁性層と、前記外部磁界に対して磁化の方向が回転する強磁性層と中間層とが少なくとも 5 層以上積層されている多層構造との間にトンネル障壁層が形成され、前記多層構造を構成する隣接する強磁性層は中間層を介してその磁化が反強磁性的に配列しており、前記第 1 磁性層と前記多層構造を構成する強磁性層の磁化の相対的な角度によって抵抗が変化する強磁性トンネル磁気抵抗効果膜と、前記トンネル磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給するための下部および上部磁性層に電氣的に接している下部及び上部電極とを有することを特徴とする磁気メモリ。

【請求項 7】磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための電極と、前記磁気抵抗セ

2

ンサ膜の電気抵抗変化を検知する手段を有する磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記磁気抵抗センサ膜が、作用する外部磁界に対してその磁化の方向が拘束されて第 1 磁性層と、前記外部磁界に対して磁化の方向が回転する強磁性層と中間層とが少なくとも 5 層以上積層されている多層構造との間にトンネル障壁層が形成され、前記多層構造を構成する隣接する強磁性層は中間層を介してその磁化が反強磁性的に配列しており、前記第 1 磁性層と前記多層構造を構成する強磁性層の磁化の相対的な角度によって抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば磁気ランダム・アクセス・メモリ内の磁気メモリ・セルに代表されるように磁氣的に情報を記憶する機能を有するトンネル磁気抵抗効果素子、あるいは、例えば磁気記録再生装置において磁氣的に記録された情報を読み出す再生素子に用いられる強磁性トンネル磁気抵抗効果素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】強磁性体の磁化の方向によってその電気抵抗が変わる磁気抵抗効果は、磁気ランダム・アクセス・メモリの記憶セルや、磁界センサなどに用いられている。

【0003】前者については、異方性磁気抵抗効果（AMR 効果）膜および巨大磁気抵抗効果（GMR 効果）膜が記憶セルに用いられているが、これらの膜は金属で構成されているためセルの抵抗が低く、記憶状態が変化したときに発生する抵抗変化も小さいという問題がある。

【0004】後者の代表的なものとしては、ロータリーエンコーダーや磁気記録再生装置の再生素子が挙げられる。これらにおいては、高感度化が要求されており、当初は AMR 効果膜が用いられていたが、現在ではより感度が高い GMR 効果膜が主に用いられている。しかしながら、磁気記録再生装置、特に磁気ディスク装置については、記録密度の向上が著しく、GMR 効果膜でも感度が不足することが予想され、さらに高感度な磁気抵抗効果膜が必要になりつつある。

【0005】上述した磁気ランダム・アクセス・メモリにおける問題と、磁気抵抗センサの高感度化の要求を解決する磁気抵抗効果膜の有力な候補の一つとして、2 層の強磁性層の間にトンネル障壁層が挟まれた強磁性トンネル磁気抵抗効果（TMR 効果）膜が注目されている。TMR 効果膜については、例えば、1995 年発刊のジャーナルオブ マグネティズム アンド マグネティック マテリアルズ 第 139 巻 L231～L234 頁に、2 層の Fe 層の間に Al 酸化膜を挟んだ構成において、室温で約 18% の抵抗変化率が得られたと報告されており、酸化膜が挟まれているため抵抗が大きく、その大きい抵抗に対して抵抗変化率

3

が、GMR効果膜で得られる10%程度よりも大きい18%であるため、抵抗変化量としては、GMR効果膜に比べると格段に大きな値が期待できる。

【0006】特開平10-162326号公報には、TMR効果膜を記憶セルとして用いた磁気ランダム・アクセス・メモリが、また、特開平3-154217号公報には、TMR効果膜を磁気抵抗センサ膜として用いたMRヘッドが開示されている。さらに、特開平11-161919号公報には、TMR効果膜の下部磁性層あるいは上部磁性層の少なくとも何れか一方に、強磁性層/中間層/強磁性層の3層膜を用いた強磁性トンネル磁気抵抗効果膜が開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】現在試作されているTMR効果膜を記憶セルに用いた磁気ランダム・アクセス・メモリは、記憶容量が1キロビットであり、そのセルの大きさは $0.28 \times 0.84 \mu\text{m}^2$ と、半導体メモリに比べるとセル面積は大きく、半導体メモリと同等かそれ以上の高密度メモリを実現するためにはさらに縮小する必要がある。

【0008】また、磁気ディスク装置においても高記録密度化が急速に進行しており、磁気記録再生装置の再生素子のトラック幅、素子高さが小さくなっており、この動向は磁気抵抗効果膜がGMR効果膜からTMR効果膜と高感度になっても変わるものではない。

【0009】このように、磁気ランダム・アクセス・メモリにおいても磁気記録再生装置の再生素子においても、TMR効果膜の面積を小さくすることが必然であるが、そのときに問題となるのが熱揺らぎに対する安定性である。ここで、熱揺らぎの問題とは、強磁性体の異方性エネルギー一定数 K_u と体積 V の積である異方性エネルギー $K_u \cdot V$ が熱エネルギー $k \cdot T$ (k : ボルツマン定数、 T : 強磁性体の温度) に対してある程度大きな値になっていないと、磁化の状態が熱の影響で揺らいでしまい、長期間においては記憶が不安定になり判別できなくなるもの*

$$K_u \cdot V / k \cdot T \geq 80$$

であると言われている。(1)式は磁気記録媒体だけではなく、記憶素子あるいは再生素子に用いられている強磁性体にも拡張することができる。強磁性トンネル磁気抵抗効果膜について考えてみると、固定層は保磁力の大きな材料を用いるか、あるいは反強磁性体との交換結合によってその磁化の方向が拘束されており、異方性エネルギー一定数としては大きいので、熱揺らぎに対しては安定である。一方、自由層は、外部磁界によってその磁化が回転することが必要であるから、異方性エネルギーを大きくすると磁化が回転し難くなるため、適度な大きさに保つ必要がある。従って、(1)式を満足するためには、自由層の体積 V を大きくする必要がある。ところが、前述のように強磁性トンネル磁気抵抗効果膜は小サイズ化が必要であることから、自由層の面積 S は小さくなる※

$$H_k \cdot M_s \cdot V_{\text{ferro}} / 2 \geq 80 \cdot k \cdot T$$

4

*である。上記従来技術では、熱揺らぎに対する安定性については触れていない。

【0010】本発明の目的は、さらに小サイズ化する磁気ランダム・アクセス・メモリの記憶セルや磁気記録再生装置の再生素子の磁気抵抗効果膜の大きさが小さくなくても、安定に動作する強磁性トンネル磁気抵抗効果素子、およびそれを用いた磁気ランダム・アクセス・メモリや磁気記録再生装置の再生素子を提供するものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的は、本発明によれば、以下のような強磁性トンネル磁気抵抗効果素子を提供することにより達成することができる。

【0012】すなわち、下部磁性層と、トンネル障壁層と、上部磁性層が積層されており、下部磁性層および上部磁性層のいずれか一方が外部磁界に対してその磁化の方向が拘束されている固定層であり、もう一方が外部磁界に対してその磁化の方向が回転することができる自由層であって、固定層と自由層の磁化の相対的な角度によって抵抗が変化する強磁性トンネル磁気抵抗効果膜と、この強磁性トンネル磁気抵抗効果膜にセンス電流を供給するための下部及び上部電極が配置され、さらに抵抗変化を検出するための検出手段を有する強磁性トンネル磁気抵抗効果素子において、自由層を強磁性層と中間層が少なくとも5層以上積層されている多層構造にし、中間層を介して隣接する強磁性層の磁化を反強磁性的に配列させるものである。

【0013】このような構造にすることにより熱揺らぎ安定性の高い強磁性トンネル磁気抵抗効果素子が得られる理由は次のようなことである。

【0014】磁気ディスク装置において、熱揺らぎに対して安定となる目安は、磁気記録媒体の結晶粒の体積を V 、媒体材料の異方性エネルギー一定数を K_u とすると、

(1)

※ので、ある体積 V を確保するためには膜厚 t を厚くする必要がある。しかし、膜厚 t を厚くすると、自由層の飽和磁化 M_s との積である磁化量 $M_s \cdot t$ が大きくなるので、磁界に対する感度が鈍くなるという問題が生じる。

【0015】熱揺らぎ安定性を確保しつつ、なおかつ磁界感度を向上させるためには、同じ体積 V で自由層の磁化量 $M_s \cdot t$ を小さく保つことが必要であり、これは、自由層が強磁性層と中間層の多層構造からなり、中間層を介して隣接する強磁性層の磁化を反強磁性的に配列させることにより実現できる。このとき、(1)式は、自由層の平均の異方性磁界を H_k 、平均の飽和磁化を M_s 、自由層を構成する各強磁性層の体積の和を V_{ferro} とすると、

(2)

5

ここで、 k ：ボルツマン定数、 T ：強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の温度と書き換えることができる。

【0016】このとき、自由層を構成する強磁性層としては、Fe、Co、Niおよびそれらの合金を、中間層としては、Cr、Ru、Rh、Ir、Re及びそれらの合金を用いることができるが、その中でも、強磁性層としてCo-Fe合金、Co-Ni-Fe合金、Ni-Fe合金を、中間層としてRuを用いることが好ましい。

【0017】なお、特開平11-161919号公報には、2層の強磁性層が中間層を介して反強磁性的に結合した自由層が開示されているが、記憶セルサイズや磁気ヘッドの再生素子の磁気抵抗効果膜が小さくなると、自由層の面積 S に対して膜厚 t が大きくなり、磁界感度が鈍くなるので、さらに強磁性層一層の膜厚 t が薄くできるように強磁性層と中間層の層数を多くする必要がある。

【0018】

【発明の実施の形態】熱揺らぎ安定性の高い強磁性トンネル磁気抵抗効果素子を実現するための方法を、磁気ランダム・アクセス・メモリを例に説明する。

【0019】図1に磁気ランダム・アクセス・メモリの概略図を示す。ある面内には平行な導線21、22、23がワード線として、これらとは別の面内には平行な導線24、25、26がビット線として配置されており、上方から見たときにワード線とビット線が交差する位置に強磁性トンネル磁気抵抗効果（TMR効果）を利用したメモリ・セル30が配置される。図1では3本のビット線と3本のワード線と9個のメモリ・セルを示してあるが、実用的な磁気ランダム・アクセス・メモリではより多くのビット線、ワード線、メモリ・セルが配置されている。

【0020】メモリ・セル30は、ダイオード部301と強磁性トンネル接合部302とを含み、メモリの動作中、電流はメモリ・セル30を垂直方向に流れることになる。従来の異方性磁気抵抗効果（AMR効果）あるいは巨大磁気抵抗効果（GMR効果）を利用する場合にはメモリ・セルの面内方向に電流が流れるため、メモリ・セルを高密度に配置するのに大きな制約になっていたが、セルの垂直方向に流すTMR効果を用いることにより高密度のメモリを作成することが可能になる。

【0021】また、図1には示されていないが、ビット線やワード線には、任意のビット線やワード線を選択して電流を流す回路や、抵抗変化を検出する検出回路などが接続されており、ビット線が配置されている面内とワード線が配置されている面内に挟まれた空間で、メモリ・セルが配置されていない部分には、通常絶縁材料層が設けられている。

【0022】メモリ・セル30の構造の一例を図2に示す。メモリ・セル30は、ダイオード部301と強磁性トンネル接合部302からなる。ダイオード部301は、 n 型シリコン層31と p 型シリコン層32からなるシリコン接合ダイオードである。強磁性トンネル接合部302は、下部電極

6

層33と、下地層34と、反強磁性層35と、固定層36と、障壁層37と、自由層38と、上部電極層39とが積層されている。ここで、下部電極層33はダイオード部301と強磁性トンネル接合部とを電氣的に接続するためのものであり、例えばRu、Pt、Hf、Zr、Taなどを用いることができる。下地層34は、これより上に積層される反強磁性材料、磁性材料の磁気特性などが結晶配向性により大きく影響を受けるため、主に結晶配向性を制御するために設けるものであり、具体的には、Ni-Fe系合金、あるいはこれにCr、Ta、Mo、Nbから選ばれる元素を少なくとも一種類含む合金を用いることができる。また、反強磁性層35は、強磁性材料からなる固定層36とその界面で交換結合して、固定層36の磁化が外部磁界が作用した際にも動かずに、ある基準の方向を常に向いているようにするためのものである。一方、自由層38も強磁性材料からなるものであるが、ある一定以上の大きさの外部磁界が作用したときにその磁化の方向を変えて、情報を記憶する役割を有する。反強磁性層35としては、Pt-Mn系合金、Pt-Pd-Mn系合金、Cr-Mn-Pt系合金、Ni-Mn系合金、Ir-Mn系合金、Ru-Rh-Mn系合金、Fe-Mn系合金を用いることができる。固定層36および自由層38は、Ni、Fe、Coおよびそれらの合金であればよいが、障壁層37との界面にはスピン分極率の大きな材料を用いることが望ましい。また、障壁層37は薄いAlの酸化物であり、上部電極層39は、下部電極層と同様にRu、Pt、Hf、Zr、Taなどを用いることができる。

【0023】自由層38は一軸異方性を有し、磁化容易軸方向に2つの安定状態をとることができ、各々の方向が“0”および“1”の記憶情報に相当する。これに対して、前述のように、固定層36は反強磁性層35と交換結合により一方向異方性を有している。自由層38の一軸異方性の方向と固定層36の一方向異方性の方向を略平行にすることにより、自由層38と固定層36の磁化は、略平行状態および略反平行状態をとることになる。強磁性トンネル磁気抵抗効果においては、略平行なときはコンダクタンスが大きく、略反平行なときはコンダクタンスが小さいので、それぞれ低抵抗状態と高抵抗状態となり、これらを“0”あるいは“1”の信号として取り出すことができる。

【0024】自由層38の記憶情報の書き換えは、書き換えを行いたいメモリ・セル（以下、選択セルと呼ぶ）において交差するワード線とビット線に適切な大きさの電流を流すことにより、選択セルに磁化困難軸を越えるに必要な磁界が印加されることにより行うことができる。ここで、適切な大きさの電流とは、電流が流れるワード線あるいはビット線に接続されているメモリ・セルのうち、書き換えを実行したくないメモリ・セル（以下、非選択セルと呼ぶ）では、磁化困難軸を越えることができない磁界しか作用しない電流の大きさ、すなわち磁化反転が起こらない電流の大きさである。

7

【0025】図2のメモリ・セル30の構造において、自由層38のみの構造を図3～5に示す。図3は、強磁性層のみ一層で構成される従来の自由層の構造である。この構造では、メモリ・セルの面積が小サイズ化していくと、熱揺らぎに対して情報を長期間保証できる体積を維持するためには、膜厚を厚くしなければならず、それにより外部磁界に対する感度が鈍くなり、情報を書き換えるために磁化を反転させるために大きな電流値が必要になったり、磁化の反転が不安定になったり、という問題が起こる。

【0026】この問題を解決する手段として、自由層を強磁性層と中間層が少なくとも5層以上積層し、中間層を介して積層されている隣接する2層の強磁性層の磁化が反強磁性的に配列させる方法が有効であり、図4および図5に、その構造の例を示す。図4は、紙面右向きに磁化が向いている第1の強磁性層381と、左向きの第2の強磁性層383とが、中間層382を介して積層されており、磁化の大きさは第2の強磁性層382に比べて第1の強磁性層381が大きいので、これら全体で見ると右方向の磁化成分を有している。図5は、同じ磁化の大きさを有し、磁化の向きが紙面左方向を向いている第2強磁性層385と右方向を向いている第3の強磁性層386が中間層382を介して積層されており、さらにこれらよりも大きな磁化を有する第1の強磁性層384が、中間層382を介して第2の強磁性層385のうち最上部に配置されているものと積層されているものであり、これら全体としてみると右方向の磁化成分を有している。

【0027】図4および図5は、本発明の特定の実施例であり、自由層が強磁性層と中間層の多層構造からなり、中間層を介して隣接する強磁性層の磁化が反強磁性的に配列しており、全体としていずれかの方向に磁化成分を有していれば、これらの構成に限定されるものではない。

【0028】第1の強磁性層381および384、第2の強磁性層383および385、第3の強磁性層386としては、Fe、Co、Niおよびそれらの合金を用いることができるが、そのなかでも、Co-Fe合金、Co-Ni-Fe合金、Ni-Fe合金など磁化の分散が小さく、比較的異方性分散が小さい一軸異方性が誘導される材料を用いることが好ましい。中間層382としては、Cr、Ru、Rh、Ir、Re及びそれらの合金を用いることができるが、強磁性層としてCo-Fe合金、Co-Ni-Fe合金、Ni-Fe合金などを用いる場合には、強い反強磁性配列を得る目的でRuを用いることが好ましい。

【0029】本発明の構造を用いた場合の効果について

8

説明する。図6は、異方性磁界 $H_k=2.4 \text{ kA/m}$ [30 Oe]、 $M_s=0.151 \text{ T}$ [1510 G]のcase 1と、異方性磁界 $H_k=1.6 \text{ kA/m}$ [20 Oe]、 $M_s=0.127 \text{ T}$ [1270 G]のcase 2について、(3)式

$$H_k \cdot M_s \cdot V_{\text{ferro}} / 2 \cdot k \cdot T \quad (3)$$

ここで、 k ：ボルツマン定数、 T ：強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の温度により、自由層の体積と熱揺らぎの指標である $K_u \cdot V / k \cdot T$ を計算した結果を示した図である。

この図より熱揺らぎ安定性が確保できる $K_u \cdot V / k \cdot T > 80$ を満たす最小自由層体積が、case 1 では $1.745 \times 10^5 \text{ nm}^3$ であるのに対し、case 2 では $3.108 \times 10^5 \text{ nm}^3$ と、約1.8倍も大きな体積が必要であることが分かる。

ここで、材料として考えてみると、case 1 の特性を満たすような材料を自由層に用いると、熱揺らぎ安定性は向上するが、大きな書き込み電流が必要となり、消費電力の増大をもたらすため実用的ではない。これを考慮して異方性磁界 H_k を小さくした場合（具体的な材料としては CoNiFe を想定）が case 2 である。

【0030】case 2 において、メモリ・セルが正方形であると仮定して $K_u \cdot V / k \cdot T > 80$ を満たすのに必要な自由層の面積と厚さを、正方形の一辺の長さが250 nm、180nm、130 nm、100 nm である場合について計算した結果を表1に示す。自由層の一辺が250 nmでは、自由層の面積 S は $6.25 \times 10^4 \text{ nm}^2$ であるから、最小膜厚 t は4.97 nm となる。同様の計算を行うと、一辺が180 nm、130 nm、100 nmのときの最小膜厚は、それぞれ 9.59 nm、18.4 nm、31.1 nm と、一辺の長さが短くなる程必要膜厚は大きくなる。膜厚が厚くなり、自由層の一辺の長さの比（表1の L/t ）が小さくなると、磁界に対する感度が鈍くなるという問題があり、これを解決するためには強磁性層一層の厚さを薄くする必要がある。なお、感度確保のためには、 L/t は40以上あることが好ましい。強磁性層一層の厚さを薄いままに保ち、なおかつ熱揺らぎに対して安定な自由層の必要膜厚を確保するためには、自由層を強磁性層と中間層の積層構造として、中間層を介して隣接する強磁性層の磁を互いに反強磁性的に配列させることにより、異方性磁界 H_k 及び飽和磁化 M_s の値を変え

ることなく、自由層の体積を大きくすることができる。【0031】自由層を強磁性層／中間層／強磁性層の3層構造にする従来構造の場合には、 L/t の値はたかだか2倍になるだけであり、メモリ・セルのサイズが小さくなると十分な感度が確保できなくなる。

【0032】

【表1】

表1

一辺の長さ L (nm)	250	180	130	100
自由層の面積 S (nm ²)	6.25×10^4	3.24×10^4	1.69×10^4	1.00×10^4
自由層の膜厚 t (nm)	4.97	9.59	18.4	31.1
L/t	50.3	18.8	7.1	3.2

【0033】以上では磁気ランダム・アクセス・メモリの実施の形態について述べたが、以下においては磁気記録再生装置の再生素子の実施の形態について述べる。

【0034】図7は、その構造の一例である。基板上に、例えばNi₈₁Fe₁₉膜からなる上部シールド層51、下部シールド層52の間に、下部電極を兼ねた下部ギャップ層46、反強磁性層45、固定層44、障壁層43、自由層42、上部電極を兼ねた上部ギャップ層41からなるTMR効果磁気抵抗センサ膜が配置されている。ここで、自由層42は、図4あるいは図5に示した多層構造からなる。なお、TMR効果磁気抵抗センサ膜と、上部シールド層51、下部シールド層52の間には、例えば酸化アルミニウムと酸化シリコンの混合膜などの絶縁膜が形成されている。

【0035】自由層42及び固定層44には、Ni-Fe、Co、Co-Fe、Ni-Fe-Coおよびこれらの積層膜を用いることができるが、障壁層43との界面には、スピン分極率の大きい材料、例えばCo₇₅Fe₂₅、Ni₄₀Fe₆₀などを用いることが望ましい。障壁層43は、Alの酸化物である。また、反強磁性層25には、Pt-Mn系合金、Pt-Pd-Mn系合金、Cr-Mn-Pt系合金、Ni-Mn系合金、Ru-Rh-Mn系合金、Ir-Mn系合金、Fe-Mn系合金を用いることができ、交換結合磁界を向上させるために面心構造を有する材料からなる下地層を設けることもある。さらに、自由層42から発生するバルクハウゼンノイズを抑制するために、縦バイアス磁界を印加する縦バイアス印加層を設けてもよい。

【0036】また、図8および図9は、磁気記録再生装置の再生素子の別の構造の例である。図8は、上部シールド層51、下部シールド層52の間に、例えば膜厚10 nmのNi₈₁Fe₁₉膜からなる磁束ガイド60を配置し、磁束ガイド60は、媒体対向面から素子高さ方向100に伸びており、媒体対向面から離れた位置で、例えば膜厚0.8 nmのRuからなるスペーサ層71を介して、TMR効果膜の自由層42と反強磁性的に結合している。さらに、自由層42は、障壁層43を介して、反強磁性層45との交換結合によりその磁化の方向が拘束されている固定層44と積層されている。なお、図中には、反強磁性層45の下に下地層46を設けてあるが、固定層44と反強磁性層45との間の交換結合が、安定なヘッド動作を行うのに十分であるならば、特に設ける必要はない。

【0037】自由層42及び磁束ガイド60から発生するバルクハウゼンノイズを抑制するために、磁束ガイド60上に縦バイアス印加層63が積層されている。本実施の形態

では、自由層42がスペーサ層71を介して磁束ガイド60と反強磁性的に結合しているため、磁束ガイド60に縦バイアス磁界を印加することにより、自由層42と磁束ガイド60の両方のバルクハウゼンノイズを抑制することができる。また、上部電極61は縦バイアス印加層63に積層されており、下部電極47は下部シールド層52上に設けられている。なお、磁束ガイド60及びTMR効果膜と、上部シールド層51、下部シールド層52の間には、例えば酸化アルミニウムと酸化シリコンの混合膜などの絶縁膜が形成されている。

【0038】図8では、磁束ガイドは1枚の磁束ガイド60で構成されているが、図9に示すように、第1の磁束ガイド部160と第2の磁束ガイド部161の2つの部分で構成してもよい。TMR効果膜の自由層42と磁束ガイドとは、第1の磁束ガイド部160の一部でスペーサ層71を介して反強磁性的に結合している。第1の磁束ガイド部160と第2の磁束ガイド部161は、TMR効果膜が配置されている位置よりも、より素子高さ方向に奥まった位置で接しており、これらの磁束ガイド部は磁気回路を形成しており、媒体から侵入した磁界が磁気回路に沿って通り抜ける。なお、上部電極61及び下部電極47の配置は、TMR効果磁気抵抗センサ膜の膜厚方向にセンス電流が供給できれば、必ずしも本図の限りではない。縦バイアス印加層は、2つの磁束ガイド部160と161の両脇に設けてある。2つの磁束ガイド部160と161で挟まれた部分に配置されているのは、非磁性ギャップ層65である。

【0039】これらの実施の形態においても、自由層42は、図4あるいは図5に示した多層構造であり、これにより熱揺らぎに対して安定な再生素子を有する磁気記録再生装置を得ることができた。

【0040】

【発明の効果】上述してきたように、本発明によれば、自由層を強磁性層と中間層を少なくとも5層以上積層し、中間層を介して隣接する2層の強磁性層の磁化を反強磁性的に配列させることにより、熱揺らぎに対して安定な強磁性トンネル磁気抵抗効果素子、さらにはそれを利用した磁気ランダム・アクセス・メモリあるいは磁気記録再生ヘッドを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】磁気ランダム・アクセス・メモリの構造を示す図。

【図2】強磁性トンネル磁気抵抗効果を利用したメモリ

11

・セルの構造を示す図。

【図3】従来の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の自由層の構造を示す図。

【図4】本発明の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の自由層の構造を示す図。

【図5】本発明の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の自由層の他の構造を示す図。

【図6】自由層体積と $K_0 \cdot V/k \cdot T$ の関係を示す図。

【図7】強磁性トンネル磁気抵抗効果を利用した磁気記録再生装置の再生素子の構造を示す図。

【図8】強磁性トンネル磁気抵抗効果を利用した磁気記録再生装置の再生素子の他の構造を示す図。

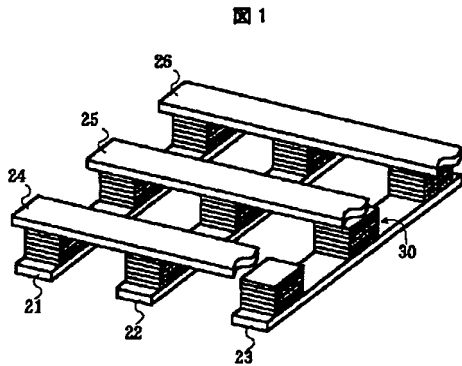
【図9】強磁性トンネル磁気抵抗効果を利用した磁気記録再生装置の再生素子の他の構造を示す図。 *

12

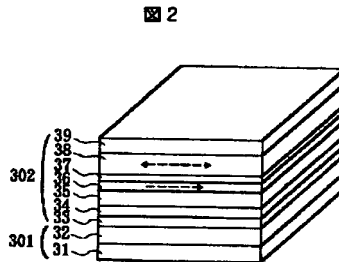
*【符号の説明】

21, 22, 23: ワード線、24, 25, 26: ビット線、30: メモリ・セル、301: ダイオード部、302: 強磁性トンネル接合部、31: n型シリコン層、32: p型シリコン層、33: 下部電極層、34: 下地層、35, 45: 反強磁性層、36, 44: 固定層、37, 43: 障壁層、38, 42: 自由層、39: 上部電極層、381, 384: 第1の強磁性層、382: 中間層、383, 385: 第2の強磁性層、386: 第3の強磁性層、41: 上部ギャップ層、46: 下部ギャップ層、47: 下部電極、51: 上部シールド層、52: 下部シールド層、60: 磁束ガイド、160: 第1の磁束ガイド部、161: 第2の磁束ガイド部、61: 上部電極、65: 非磁性ギャップ層、71: スペース層、100: 素子高さ方向、101: トラック幅方向。

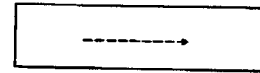
【図1】



【図2】



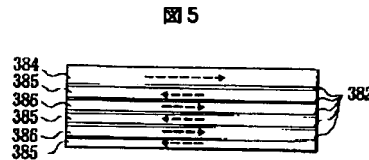
【図3】



【図4】

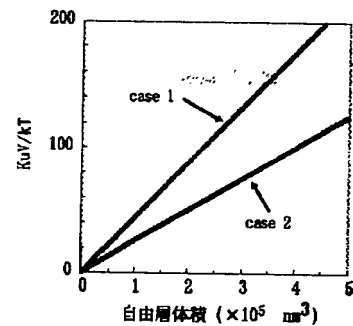


【図5】



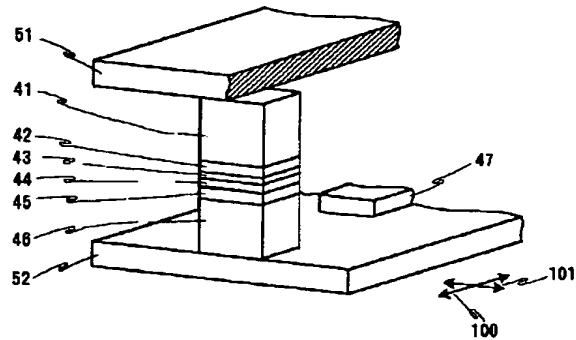
【図6】

図6



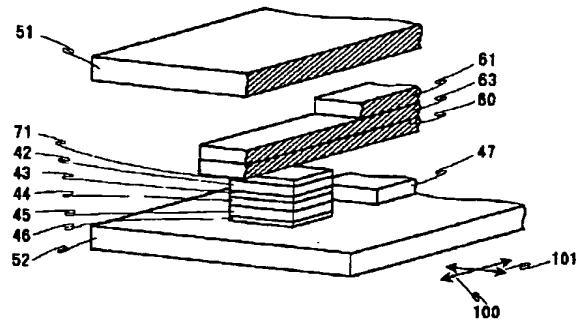
【図7】

図7



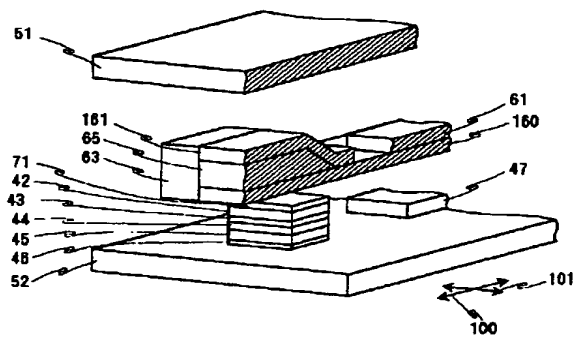
【図8】

図8



【図9】

図9



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H 0 1 F 10/30

H 0 1 L 27/105

識別記号

F I

G 0 1 R 33/06

H 0 1 L 27/10

ターマコード (参考)

R

4 4 7

Fターム (参考) 2G017 AA01 AB05 AD55 AD57 AD61
AD63 AD65
5D034 BA03 BA08 BA12 BA15 CA04
CA08
5E049 AA10 AC05 BA06 BA12 BA16
DB12 DB18
5F083 FZ10